动 物 学 研 究 2003, Jun. 24 (3): 168 ~ 172 CN 53 - 1040/Q ISSN 0254 - 5853
Zoological Research

南美斑潜蝇地理种群蛹过冷却点随纬度递变及其对种群扩散的意义

陈 兵，康 乐[1]
（中国科学院动物研究所 农业虫鼠害综合治理研究国家重点实验室，北京 100080）

摘要：南美斑潜蝇是我国重要入侵种，已在我国广泛分布。为了解其不同地理种群的冷适应能力，2002 年 5 月底至 7 月初在其分布区从南到北每隔大约 5°（纬度）安排 1 个采样点，包括昆明、成都、西安、北京和赤峰，采集这些地理种群蛹和幼虫；在室内实验测定蛹的过冷却点（SCP）。蛹的 SCP 随纬度升高显著增加，最大相差 3.7 ℃；5 个地理种群的 SCP 与当地气温年较差呈显著负相关，但与年均温无关。上述结果说明，南美斑潜蝇向北扩散过程包含了包括 SCP 逐步降低的适应机制。

关键词：南美斑潜蝇；过冷却；地理种群；种群扩散
中图分类号：Q969.464.2 **文献标识码**：A **文章编号**：0254 - 5853(2003)03 - 0168 - 05

Supercooling Point Shift of Pea Leafminer Pupae with Latitude and Its Implication for the Population Dispersion

CHEN Bing, KANG Le[1]
(*State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China*)

Abstract: The pea leafminer *Liriomyza huidobrensis* is an invasive species, which has widely distributed in China. To specify its adaptation to cold (stress), we sampled pupae and larvae of the species from Kunming, Chengdu, Xi'an, Beijing and Chifeng, stepping up about every 5° from south to north. Supercooling points (SCP) of pupae were experimentally tested. The SCP increased with latitude, and the difference between populations at the two extremes was 3.7 ℃, and the SCP was negatively related to the yearly margin of ambient temperature for the geographical populations, but not to the monthly or yearly temperatures they experienced. The results imply that an adaptive course of lowing SCP involves in the species' dispersing northwards.

Key words: *Liriomyza huidobrensis*; Supercooling; Geographical population; Population dispersion

南美斑潜蝇（*Liriomyza huidobrensis*）是一种重要的农业害虫，全世界均有分布。该害虫自 1996 年侵入我国以来，目前已在全国 10 多个省市分布，并严重为害蔬菜和花卉生产（Kang, 1996; Xiao et al, 2000; Chen & Kang, 2002a）。

一般认为，昆虫能适应不同的地理环境和气候条件并建立种群，都有其生活史（life history）对策、生理生化调节和选择进化的机制（Hodkinson et al, 1999; Lee, 1991; Jenkins & Hoffmann, 1999）。南美斑潜蝇世代历期短，没有滞育，并且具有很宽的寄主选择谱（Spencer, 1990; Wei et al, 2000; Xiao et al, 2000）。对这类昆虫，其分布直接取决于它们的生理适应和要求，很大程度上与寄主可获得性（availability）和生活史对策无关（Hodkinson, 1999）。最近对南美斑潜蝇及另一广泛分布的近缘种美洲斑潜蝇（*L. sativae*）的比较研究

收稿日期：2002 - 09 - 28；接受日期：2003 - 03 - 09
基金项目：国家重点基础研究发展规划项目（G2000046803）
1. 通讯作者（Corresponding author），E-mail：lkang@panda.ioz.ac.cn

发现，两者在我国发生和分布上的时空差异与两者的耐寒性有很大关系（Chen et al，2002）。南美斑潜蝇实验种群的蛹虽然不能耐受细胞内结冰，但能通过过冷却作用忍受 -5 ℃以上的低温（Chen & Kang，2002b）。可是目前还没有从对南美斑潜蝇自然种群的研究中获得其耐寒性与地理适应的直接证据。本研究旨在通过对南美斑潜蝇不同地理种群蛹的耐寒性的研究，分析造成目前这种斑潜蝇在我国广泛分布和大量发生的原因，并预测未来扩散趋势及提出防治措施。

1　材料和方法

1.1　地理种群采集

在我国从南到北每隔大约 5°（纬度）安排 1 个采样点，共计 5 个：南方的昆明，中部的成都和西安，以及北方的北京和赤峰，范围几乎覆盖了南美斑潜蝇从亚热带到温带的所有分布区。采集地点是当地露天花卉或菜地（寄主植物在昆明为满天星，其他样点为豇豆）。采集时间集中在 2002 年 5 月底至 7 月初。在 12 h 内将采集到的蛹和幼虫连同叶片放在透气的纸盒内送回实验室测定过冷却点（supercooling point，SCP）。

1.2　蛹的 SCP 测定

测定前蛹不经任何低温或高温处理。先吸干蛹表面水分，然后用热电偶仪（uR100，Model 4152，Yologama Elect. Co.，Seoul，Korea）测定蛹的 SCP。具体测定方法见 Chen & Kang（2002b）。每批样本测定完毕后用冰水混合物校正仪器。每个地理种群视 SCP 变异情况测定 12 ~ 30 头蛹。

1.3　气候资料收集

气候资料引自中央气象局编《中国地面气候资料 1951 ~ 1970》（National Weather Bureau of China，1975）。因 5 个采样点 1 月温度最低，7 月最高，采样时间为 5 ~ 7 月，故本研究采用 1 月、5 ~ 7 月和年均温做有关的分析。

2　结　果

2.1　过冷却能力的地理分化

从表 1 可知，南美斑潜蝇蛹的过冷却能力在各地理种群间出现显著差异，且随着纬度升高，过冷却能力显著增强（one-way ANOVA：$F_{4,90} = 3.78$，$P = 0.013$）。昆明种群南美斑潜蝇蛹的 SCP 最高，为 -18.9 ℃，且显著高于其他 4 个中部和北方种群。成都和西安种群间蛹的过冷却点无差异。北京和赤峰种群蛹的 SCP 降到最低，达到 -22.6 ℃，并且显著低于南方和中部地区的种群，但两者之间无差异。北京和昆明南美斑潜蝇种群的 SCP 相差达到 3.7 ℃。

南美斑潜蝇各地理种群内个体过冷却能力变异出现不同特点（图 1）。北方南美斑潜蝇种群如赤峰种群内个体的 SCP 分布范围非常宽，最大值与最小值相差达到 5.7 ℃；成都、西安种群 SCP 分布范围也较宽。昆明种群内个体 SCP 非常一致，变异也最小。而且，昆虫个体的 SCP 最高值出现在昆明种群，为 -17.0 ℃；最小值则出现在赤峰种群，为 -24.3 ℃。

2.2　过冷却能力与温度胁迫（thermal stress）

通过对各采样点气候资料的分析发现，昆明种群全年的月均温变化幅度最小，气温年较差也最小。随着纬度增加，气温年较差加大（表 2）。实际上，地理种群蛹的 SCP 与其地理位置的气温年较差负相关（$r^2 = 0.83$，$P = 0.030$）（图 2）。

各采样点中，1 月的平均气温是全年最低的；而且，随着纬度的增加而逐步降低，与南美斑潜蝇地理种群蛹的 SCP 变化趋势一致（图 3），但两者不相关（$r^2 = 0.65$，$P = 0.098$）。

昆明年均温为 14.8 ℃；5 ~ 7 月的月均温和年均温都低于成都，6 ~ 7 月的月均温低于西安和北京。南美斑潜蝇地理种群蛹的过冷却点与该地 5 ~ 7 月的月均温和年均温无关（月均温：$r^2 = 0.46$，$P = 0.206$；年均温：$r^2 = 0.42$，$P = 0.234$）。

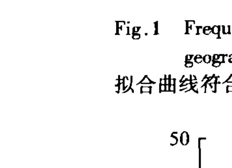
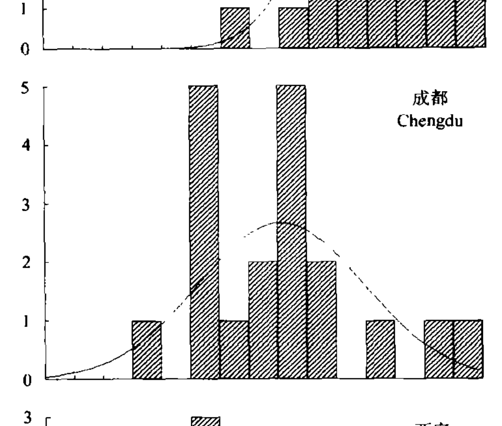
表 1　南美斑潜蝇蛹的过冷却能力的地理差异

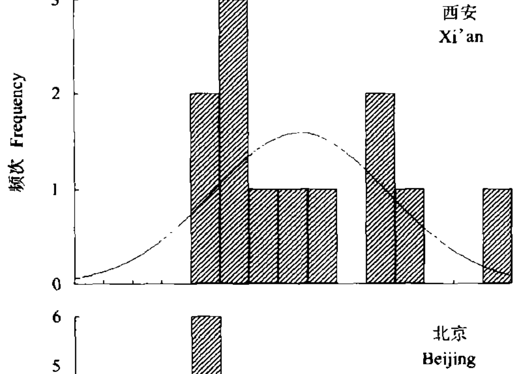
Table 1　Geographical variation in supercooling capacity of *Liriomyza huidobrensis*

采样点 Sampling site	纬度 Latitude	样本数 No. of sampling (ind.)	过冷却点 Supercooling point (℃)*
昆明 Kunming	25°01′	30	-18.86 ± 0.18^a
成都 Chengdu	30°40′	19	-20.45 ± 0.32^b
西安 Xi'an	34°15′	12	-20.63 ± 0.43^b
北京 Beijing	39°37′	15	-22.57 ± 0.18^c
赤峰 Chifeng	42°16′	19	-22.38 ± 0.33^c

* 过冷却点用平均值 ± 标准误表示，上标字母不同的平均值之间差异显著（LSD 检验，α = 0.05）。

* Supercooling point is expressed as mean ± SE, and means with different superscripts are significantly different (LSD test, α = 0.05).



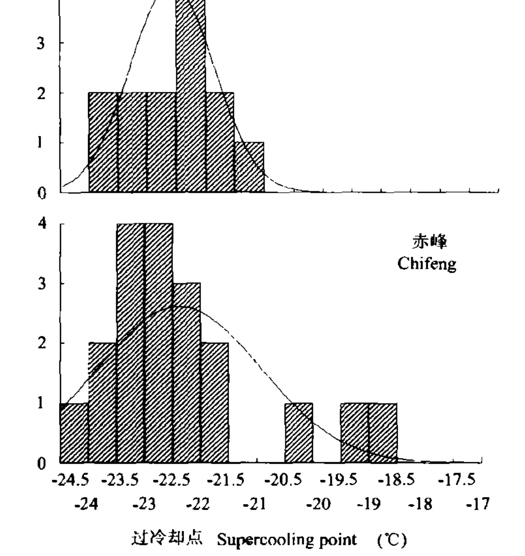
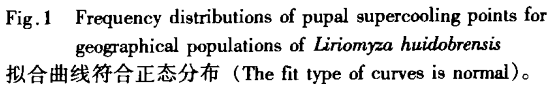


图 1 南美斑潜蝇各地理种群蛹的过冷却点的频次分布


Fig.1 Frequency distributions of pupal supercooling points for geographical populations of *Liriomyza huidobrensis*

拟合曲线符合正态分布（The fit type of curves is normal）。

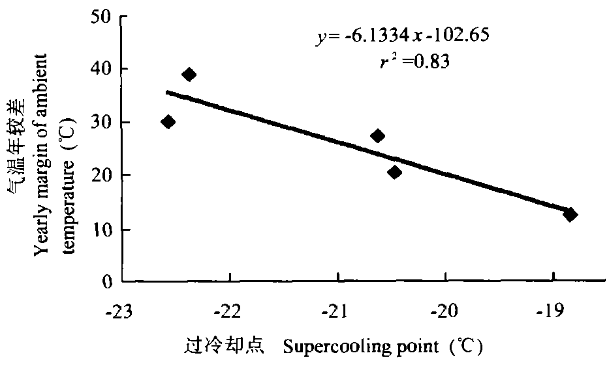


图 2 南美斑潜蝇地理种群蛹的过冷却点和采样点气温年较差的关系

Fig.2 Relationship between the supercooling point of pupal *Liriomyza huidobrensis* and the yearly margin of ambient temperature in different geographical localities

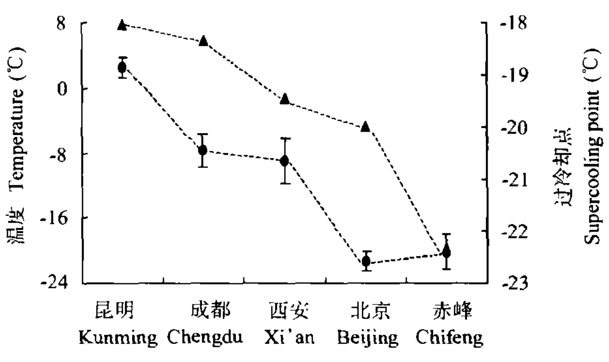


图 3 南美斑潜蝇蛹的过冷却点（平均值±标准误）与采样点 1 月均温随着地理纬度的变化关系

Fig.3 Relationship between supercooling point (mean ± SE) of pupal *Liriomyza huidobrensis* and the mean temperature in January in different geographical localities

3 讨 论

南美斑潜蝇的世代历期短，寄主广泛，所以它的扩散和新种群建立较少受到生活史和与寄主植物同步性（synchrony）的限制。它主要以蛹越冬，没有滞育。因此，蛹耐寒性的获得和迅速积累是其种群扩散过程中进化适应的主要方式。

南美斑潜蝇的实验种群不耐结冰（freeze-intolerant），但可经由过冷却机制，即通过细胞内抗冻物质和抗冻蛋白的调节作用，降低结冰点，抑制细

表 2 5个采样点的月均温、年均温和气温年较差*

Table 2 Monthly mean temperatures, yearly mean temperature and yearly margin of ambient temperature in five sampling sites* ℃

采样点 Sampling site	年均温 Yearly mean	1月 January	5月 May	6月 June	7月 July	年较差 Yearly margin**
昆明 Kunming	14.8	7.8	16.7	19.5	19.9	12.1
成都 Chengdu	16.3	5.6	17.0	23.7	25.8	20.2
西安 Xi'an	13.3	-1.3	14.0	25.3	26.7	28.0
北京 Beijing	11.6	-4.7	13.2	24.2	26.1	30.7
赤峰 Chifeng	-0.6	-20.1	3.0	17.8	17.9	39.1

* 摘录自国家气象局（1975）。** 1951～1970年月均温的最高和最低值之差。

* Abstracted from National Weather Bureau of China (1975). ** Difference between the maximum of monthly means and the minimum in a period of 1951 - 1970.

胞内结冰，从而耐受0 ℃以下低温（Lee，1991；Duman，2001）。所以通过降低过冷却点表现的过冷却能力的变异，是该昆虫对外界环境胁迫的适应性反应。美洲斑潜蝇不具备这种较强的对低温胁迫的抵御能力，只能寻求庇护场所而获得机会生存（opportunistic survival）（Zhao & Kang，2000）。Duman（2001）认为昆虫体内冰核蛋白（protein ice nucleators）对过冷却能力的调节有至关重要的作用，因为降低体内冰核蛋白的含量可有效降低过冷却点，减少冷伤害。所以，南美斑潜蝇地理种群过冷却能力随纬度升高而增加，也反映了它对环境胁迫所表现出的生理生化调节能力。实际上，研究已发现这种适应性调节甚至会导致昆虫种群耐寒性转变，即由不耐结冰转化为耐结冰（freeze tolerant），从而能在扩散过程中积极有效地适应北方冬季极低环境气温的胁迫（Kukal & Duman，1989；Chen & Kang，2003）。而美洲斑潜蝇的过冷却点不到 -10 ℃，耐受低温的能力有限（Wang et al，2000）。田间试验发现该昆虫在北纬35°以北的自然环境下不能安全越冬（Dong et al，2001）。显然，这种低温适应能力的种间分化很大程度上决定了两者在我国扩散和分布的不同局面。

在种群水平上，南方南美斑潜蝇蛹的过冷却点最高（昆明，-18.9 ℃），显著高于中部（成都和西安，< -20.4 ℃）和北方（北京和赤峰，< -22.3 ℃）种群，表明南、北种群的过冷却点出现明显分化。在个体水平上，昆明种群个体过冷却点变异最小，成都、西安和赤峰都明显增加，即靠北的种群个体变异相对较大，接受自然选择的范围扩大。但是，何以北京种群个体间变异与昆明相近，还有待研究。

南美斑潜蝇地理种群过冷却能力与当地气温年较差显著负相关，说明了该昆虫过冷却能力变化受所处环境温度波动的直接影响。研究已发现昆虫在变温条件下比在常温条件下表现出更高的耐寒性（Kim & Song，2000）。另一方面，对南美斑潜蝇在零度以上低温进行冷驯化可显著提高其过冷却能力和耐寒性（Chen & Kang，unpublished）。随着南美斑潜蝇的自然种群逐步向北扩散，便会面临冬季冷害甚至体内结冰的胁迫。所以提高过冷却能力是非常必要的。由此亦导致种群内个体耐寒力的分化。但在南方如昆明，种群处于稳定而温暖的气候条件下，提高过冷却能力并没有进化上的意义和必要。由此可见，南美斑潜蝇过冷却能力和耐寒性的提高有其生理基础和进化上的意义。

同时比较南美斑潜蝇过冷却能力与全年最低月均温的关系，发现尽管两者随纬度变化有一定程度的相似趋势，但并无直接关系。这似乎说明昆虫过冷却能力的提高并不单纯是对极低温度胁迫的反应，而是在环境适应中对诸多胁迫的一种综合适应和修复机制。同时，本研究对象南美斑潜蝇的地理种群均为夏季种群，显然其过冷却能力与该季节的气候并无直接关系，说明该昆虫过冷却能力的获得是在长期的地理适应中形成的，具有遗传上的稳定性。这一点与Tanata（1999）对蜘蛛耐寒性研究得出的结果基本一致。

可见，南美斑潜蝇在向北扩散的过程中，经历了较长时间的驯化和适应，包括不同地理种群的基因交流（Morgan et al，2000）。而北方种群的耐寒性亦将会不断提高，并进一步向北推进其自然种群的分布。因此，控制南部自然种群进一步扩散和消灭北方温室种群，是我们应采取的可能更为有效的控制南美斑潜蝇的措施。

致谢：感谢湖北农学院本科实习生张四才协助在样本采集和过冷却点测定过程中所做的工作。感谢赤峰市农业局、成都市第一农业科学研究所等单位和西北农林科技大学马克争等同学在样本采集中提供的帮助。

参考文献：

Chen B, Kang L. 2002a. Trends of occurrence and geographic variation of pea leafminer *Liriomyza huidobrensis* in China [J]. *Plant Quarantine*, **16** (3): 138-140. [陈 兵，康 乐. 2002a. 南美斑潜蝇在我国的发生趋势和地理差异分析. 植物检疫, **16** (3): 138-140.]

Chen B, Kang L. 2002b. Cold hardiness and supercooling capacity in the pea leafminer *Liriomyza huidobrensis* [J]. *CryoLetters*, **23**: 173-182.

Chen B, Kang L. 2003. Seasonal and geographical variation in cold hardiness of pea leafminer *Liriomyza huidobrensis*: Divergence in cold adaptation strategy for freeze intolerant insect [J]. *J. Econ. Entom.*, in submission.

Chen B, Zhao YX, Kang L. 2002. Mechanisms of invasion and adaptation and management strategies of alien leafminers [J]. *Zool. Res.*, **23**: 155-160. [陈 兵，赵云鲜，康 乐. 2002. 外来斑潜蝇入侵和适应机理及管理对策. 动物学研究, **23**: 155-160.]

Dong CX, Yang QR, Li GQ, Wang T, Li DB. 2001. Cold tolerance of overwintering pupae of *Liriomyza sativae* [J]. *Plant Quarantine*, **15**: 81-82. [董慈祥，杨青蕊，李国泉，王 涛，李德斌. 2001. 美洲斑潜蝇越冬蛹耐寒能力的研究. 植物检疫, **15**: 81-82.]

Duman JG. 2001. Antifreeze and ice nucleator proteins in terrestrial arthropods [J]. *Ann. Rev. Physiol.*, **63**: 327-353.

Hodkinson ID. 1999. Species response to global environmental change or why ecophysiological models are important: A reply to Davis et al [J]. *J. Anim. Ecol.*, **68**: 1259-1262.

Hodkinson ID, Bird J, Miles JE, Bale JS, Lennon JJ. 1999. Climatic signals in the life histories of insects: The distribution and abundance of heather psyllids (*Strophingia* spp.) in the UK [J]. *Func. Ecol.*, **13** (suppl. 1): 83-95.

Jenkins NL, Hoffmann AA. 1999. Limits to the southern border of *Drosophila serrata*: Cold resistance, heritable variation, and trade-off [J]. *Evolution*, **53**: 1823-1834.

Kang L. 1996. Ecology and Sustainable Control of Serpentine Leafminer [M]. Beijing: Science Press. [康 乐. 1996. 斑潜蝇的生态学与持续控制. 北京: 科学出版社.]

Kim Y, Song W. 2000. Effect of thermoperiod and photoperiod on cold tolerance of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Environ. Entomol.*, **29**: 868-873.

Kukal O, Duman JG. 1989. Switch in the overwintering strategy of two insect species and latitudinal differences in cold hardiness [J]. *Can. J. Zool.*, **67**: 825-827.

Lee RE. 1991. Principles of insect low temperature tolerance [A]. In: Lee RE, Denlinger DL. Insects at Low Temperature [M]. New York: Chapman and Hall.

Morgan DJW, Reitz SR, Atkinson PW, Trumble JT. 2000. The resolution of Californian populations of *Liriomyza huidobrensis* and *Liriomyza trifolii* (Diptera; Agromyzidae) using PCR [J]. *Heredity*, **35**: 53-61.

National Weather Bureau of China. 1975. Chinese Ground Meteorological Documents. Beijing 1951-1970 [M]. Beijing: National Weather Bureau of China. [中央气象局. 1975. 中国地面气候资料 1951-1970. 北京: 中央气象局.]

Spencer KA. 1990. Host Specialization in the World Agromyzidae (Diptera) of the United States [M]. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Tanaka K. 1999. Cold tolerance in the house spider, *Achaearanea tepidariorum* (Araneae: Theridiidae) [J]. *Entomo. Science*, **2**: 597-604.

Wang Y, Lei ZR, Wen JZ, Sun FZ, Wu KM. 2000. Cold hardiness and overwintering of *Liriomyza sativae* [J]. *Acta Phytophylacica Sinica*, **27**: 32-36. [王 音，雷仲仁，问锦曾，孙福在，吴孔明. 2000. 美洲斑潜蝇的越冬与耐寒性研究. 植物保护学报, **27**: 32-36.]

Wei JN, Zou L, Kuang RP, He LP. 2000. Influence of leaf tissue structure on the host feeding selection of pea leafminer *Liriomyza huidobrensis* (Diptera: Agromyzidae) [J]. *Zoological Studies*, **39** (4): 295-300.

Xiao NN, Kuang RP, Wei JN. 2000. Integrated Control Techniques of *Liriomyza huidobrensis* [M]. Kunming: Yunnan Univ. Press. 13-15. [萧宁年，况荣平，魏佳宁. 2000. 南美斑潜蝇综合防治技术. 昆明: 云南大学出版社. 13-15.]

Zhao YX, Kang L. 2000. Cold tolerance of the leafminer *Liriomyza sativae* (Dipt., Agromyzidae) [J]. *J. Appl. Entomol.*, **124**: 185-189.